



柏木 孝夫氏

東京工業大学 特命教授／名誉教授
コージェネ財団理事長

新春
特別対談



赤石 浩一氏

内閣府 政策統括官
(科学技術・イノベーション・原子力担当)

脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム 「システム思考」で 最新技術を社会に実装

構成・文／小林佳代
写真／加藤 康

地球温暖化対策の枠組み「パリ協定」の発効、電力・ガスの完全自由化など、エネルギーを取り巻く環境は大きく変化しつつある。我が国では大規模電源にコージェネレーション（熱電併給）システムや再生可能エネルギーなどで構成する分散型電源を調和させ、IoT（モノのインターネット）やAI（人工知能）などのデジタル技術できめ細かく需要を制御する環境性・経済性・安定性の高いエネルギーシステムの構築が求められている。

政府は国家プロジェクト「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」の二つの課題に「脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム」を挙げ、有望技術の開発・導入に動く。日本が構築すべき新しいエネルギーシステムのあり方について、SIPを担当する内閣府の赤石浩一政策統括官（科学技術・イノベーション・原子力担当）とエネルギーシステム研究の第一人者として国のエネルギー政策に長年かかわってきた東京工業大学の柏木孝夫特命教授／名誉教授が語った。

「パリ協定」発効は イノベーション創出の良い機会

柏木孝夫氏（以下敬称略） 2018

年7月、「第5次エネルギー基本計画」が閣議決定されました。第4次計画を決定した2014年からの4年の間に「パリ協定」が発効し、国内で電力・

ガスが完全自由化するなど、エネルギーを巡る環境は大きく変わりました。特にパリ協定の発効で、世界は「低炭素」から「脱炭素」へと走り始めた観があります。内閣府政策統括官として、この流れをどう見ていますか。

赤石浩一氏（以下敬称略） パリ協定は日本にとって非常に良い枠組みだと思います。京都議定書は制限的、規制的な枠組みをメーンとするものでした。目標を達成しないと罰せられることから、各国とも目標を低く設定し、それをクリアすることに躍起になってしまった。日本もそうです。低い目標にとどめた上で、省エネや温室効果ガス排出量の少ない原子力へのシフト、「クリーン開発メカニズム（CDM）」で数合わせをすることばかりに目が向いていました。これではイノベーションは生まれません。

パリ協定には罰則などの規定はあり

ません。京都議定書とは発想が逆になり、各国とも高い目標をつくることに力を注いでいます。こうした状況はイノベーションを創出する上で極めて重要だと思います。

柏木 高い目標なくしてイノベーションは生まれにくいことですね。イノベーションは技術開発だけで創出できるものではありません。社会・経済システムの構造改革につなげ、新たな付加価値を生み出す流れをつくる必要があります。それには縦割り組織での対応では限界があり、省庁横断での取り組みが求められます。

赤石 まさに、そこがこれから最も変化が求められる部分だと思います。パリ協定は産業革命前と比べた世界の平均気温の上昇を「1.5℃以内」にとどめることを目指しています。「2℃以内」を目指す場合とは全く異なる対応が必要です。エネルギー・環境問題に限定した取り組みで終わるのではなく、大々的に包括的に省庁横断的に取り組み、社会・経済構造を変えなくてはなりません。

こうした背景も踏まえ、今、政府は

「ソサエティー5.0」を提唱しています。IoT（モノのインターネット）、ロボット、人工知能（AI）、ビッグデータ等の新たな技術をあらゆる産業や社会生活に取り入れてイノベーションを創出し、一人ひとりのニーズに合わせて形で社会的課題を解決する超スマート社会をつくり、世界をリードしていくという考えです。この構想を具体化するにはデジタルプラットフォームをつくらなくてはなりません。エネルギーは、その大きな柱となります。

あかいし こういち

赤石 浩一 氏

内閣府 政策統括官（科学技術・イノベーション・原子力担当）
1985年東京大学法学部卒業後、通商産業省（現経済産業省）入省。
2004年経済産業省資源エネルギー庁エネルギー政策企画室長、
05年経済産業省通商政策局米州課長を経て06年日本機械輸出組合
ブラッセル事務所長に就任。07年経済産業省商務情報政策局情
報政策課長、11年経済産業省大臣官房会計課長（併）監査室長、12
年経済産業省大臣官房審議官（環境問題担当）、13年内閣官房副長
官補室日本経済再生総合事務局次長、14年経済産業省大臣官房審
議官（通商政策局担当）を務める。17年内閣官房内閣審議官（内閣
官房副長官補付）（併）内閣府大臣官房審議官（科学技術・イノベ
ーション担当）を経て18年7月より現職。



求められるのは 「System of the Systems」の 発想

柏木 ソサエティー5.0の実現には、I

OT、ビッグデータ、AIなどサイバーレイヤーと電気自動車（EV）、家電、燃料電池、太陽光発電、風力発電、コージェネレーション（熱電併給）システムなど物理レイヤーとの高度な融合が不可欠です。再生可能エネルギーやコージェネを取り込んだ地産地消型の分散型エネルギーシステムを構築した上で、熱導管や電力の自営線、光ファイバーを敷設し、デマンド側をきめ細かく制御しながら熱や電力を無駄なく使うスマート&マイクロコミュニティを形成することが求められますね。

赤石 AI、IoTなどを既存のものにまぶすのではなく、社会構造やシステムそのものを「リデザインする」という発想を持つことが重要だと思っています。

今、内閣府では大型研究開発プロジェクト「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」を推進しています。「脱炭素社会実現のためのエネ

ルギーシステム」「自動運転（システムとサービスの拡張）」「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」「ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術」など12の課題を取り上げ、研究開発を続けていますが、最終的には全部を結びつけるシステムをつくりたいと考えています。大きな統合システムをつくるのではなく、お互いに分散型のデータを連携できるオープンシステムをつくり、人間中心の最適化した社会を実現したいと考えています。

柏木 日本は「One of the Systems」は大変得意です。代表例がクルマ。単体で見ると、システムもソフトも素晴らしい。ただ、クルマを含めた都市、まちという「System of the Systems」は欧米諸国に遅れがちです。アングロサクソンの人たちは「One of the Systems」をうまく使いながら、その上に森を見ることがうまい。我々も「System of the Systems」の発想を持たなくてはなりません。

赤石 それは非常に重要なポイント

です。例えばクルマに関していえば、今や世界は自動運転からさらに進み、「Maas（Mobility as a Service）」実現に向けて走り出している。移動手段をサービスとして提供し、次の時代の勝者になろうとしています。我々日本人が不得意な分野で世界は一步も二歩も進んでいる。これから我々が「System of the Systems」にどう取り組むかは大きな課題です。

かしわぎ たかお

柏木 孝夫 氏

東京工業大学 特命教授／名誉教授
コージェネ財団 理事長

1970年東京工業大学工学部生産機械工学科卒。79年博士号取得。東京工業大学工学部助教授、東京農工大学工学部教授、東京農工大学大学院教授などを歴任後、2007年より東京工業大学ソリューション研究機構教授、12年より特命教授／名誉教授。11年よりコージェネ財団理事長。経済産業省の総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会長などを歴任し長年、国のエネルギー政策づくりに深くかかわる。現在、同調査会の省エネルギー・新エネルギー分科会長、基本政策分科会委員などを務める。主な著書に『コージェネ革命』『超スマートエネルギー社会5.0』など。



ブロックチェーン技術で エネルギーを最適制御

柏木 今までのエネルギーシステムは需要ありきの発想で大規模電源一辺倒につくってきました。しかし、自由化という波の中では市場原理で稼働率の悪い大規模電源は淘汰され、再生可能エネルギーやコージェネを取り込んだ分散型電源へと移行していきます。実はエネルギーの需要の中で電気が占める割合は4割に過ぎず、6割は熱が占めます。

コージェネが生み出す熱を合理的に利用する方法を考えることが効率的なエネルギー需給構造を構築する上で非常に重要です。

赤石 東京・港区の六本木ヒルズは開業時に、6360kW×6機という大規模コージェネを稼働させ、エリア内のオフィスビルやホテル、商業施設に熱や電力を提供しています。東日本大震災でもビル内の電力は一切止まりませんでした。環境性、BCP（事業継続計画）機能の高さが際立っています。こうした取り組みを広げ、まちづくり、都市づくりにつなげていくことが重要だと思います。

最近では片山さつき地方創生担当相

が国家戦略特区制度を活用し、最先端技術を取り入れた「スーパースイッチング」を推進する方針を示しています。コージェネを含む技術の進歩を踏まえ、まちづくりそのものをリデザインするということが、エネルギー効率を向上し、地球温暖化を食い止め、人々が幸せに暮らしていくために求められています。

柏木 今後、再生可能エネルギーやコージェネを取り込んだまちづくりを進める際には、仮想通貨で有名なブロックチェーンのテクノロジーを活用すべきだと思います。太陽光、風力、コージェネなどと接続した複数のコンピュータが互いに管理するデータを共有し、デマンドサイドに伝え、総合的に検証し全体最適化を行うのです。「風力発電の電力をこの家に売る」という具合に、電力カラーリング（由来別制御）も可能になります。大規模エネルギーシステムと分散型エネルギーシステムとをブロックチェーンのテクノロジーで結び最適制御する。これが現時点での脱炭素社会のグランドデザインになるのではないでしょう

か。「System of the Systems」の発想で、こうした脱炭素型のまちづくりを実現できれば、強力な輸出アイテムにもなり、日本の経済成長の牽引役となり得ます。

赤石 ブロックチェーン中心にエネルギーの最適ネットワークが完成する方向に進むのは間違いないと思います。私はかつて経済産業省で情報政策を担当していましたが、情報通信の世界とエネルギーの世界とはアナログがあると感じました。情報はエネルギーの少し先を行っています。

例えば電気は巨大な高圧線に送電線がつながり、魚の背骨のような構造に

なっています。通信もかつてはそうでした。それが1990年代のインターネット登場後は、円を幾つも組み合わせる円形構造に変わりました。コージェネを中心とした地産地消のエネルギーシステムはまさに円形構造です。

情報の世界で起きたことを考えれば、今後、エネルギーの世界ではプライバシーの問題が出てくるでしょう。その次はセキュリティ。さらにはアクセスコントロールが問題になり、新しい切り口で競争政策が議論されるようになるはず。一歩先を行く情報通信の世界を追えば、数年後から10年後のエネルギーの姿が見えてきます。



電力の無線化は 社会に大革新をもたらす

柏木 政府は今、科学技術やイノベーションの分野で産学官連携の研究開発を行う「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」を推進しています。SIPで取り組む12の課題のうちのひとつが「脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム」。私はこの課題のプログラムディレクターを務めています。2018年夏には、新たに2022年度まで取り組む第2期の計画を発表

し、日本が主導的地位を担うべき基盤技術として、「ワイヤレス電力伝送システム」「革新的炭素資源高度利用技術」「ユニバーサルスマートパワーモジュール」の3本柱を据えました。さらに、いちばん大事なのが、これらをネットワーク化し、全体最適化するための「エネルギーマネジメント」。こ

こでも、「System of the Systems」の発想がカギを握ると考えています。

赤石 これまでにもスマートコミュニケーションなどの取り組みはしてきましたが、個別のプロジェクトは進んでも、エネルギー全体のアーキテクチャーができていませんでした。SIPでプログラムディレクターを務める柏木先生が個別テーマにエネルギーマネジメントをかぶせ、「System of the Systems」によってエネルギーの全体構造を描こ

うとしたのは大変素晴らしいことだと感じています。個別テーマでいうと、ワイヤレス電力伝送システムが実現すれば影響は極めて大きい。エネルギーの少し先を行く情報通信の世界では、無線化が進んだことで世の中が大きく変わりました。電力も無線になったら、産業、社会インフラ、ライフスタイルなどに大革新をもたらすでしょう。

基礎研究は強いが 実用化がうまくない

柏木 SIPでは時速60kmで走行中の電気自動車（EV）に給電効率90%で電力伝送することを目標としています。「磁気共鳴」「磁界共振」と呼ばれるワイヤレス給電を研究開発中です。ノーベル物理学賞を受賞した名古屋大学の天野浩教授がガン治療に使っていた磁性体を活用した研究も進んでいます。ガン治療とワイヤレス給電に同じものを活用するとは、科学技術の基礎研究は本当に幅広い分野で応用が可能になるものだと実感します。

赤石 日本は基礎研究では強いのに、実用化がうまくない。製品化の段階で米国&中国に取られてしまった例は枚挙にいとまがありません。太陽光も風

力もシステムのつくり込み方でヨーロッパや中国に太刀打ちできず負けました。悔しくて仕方がないですね。ワイヤレス給電も基礎研究で日本は決して負けてはいません。問題はシステムとして考えること。時速60kmで走るEVに電力伝送するのに仮に15分かかるとすれば、道路15km分に磁性体を埋め込まなくてはなりません。素材は何かいいのか、修理が必要な時にはどう入れ替えるのか、道路のどの部分を使うのかなども考えて設計する必要があります。ここまで実現して初めて、日本を変え、世界を変えることができます。と思います。

柏木 「第5次エネルギー基本計画」



には、再生可能エネルギーの主力電源化が盛り込まれています。気象に左右され、変動成分の高い再生可能エネルギーを大規模インフラの中に取り込むには、電圧・周波数を一定規模に保つことが必要。それができなければ停電してしまいます。SIPで「ユニバーサルスマートパワーモジュール」の開発を実現し、パワーエレクトロニクス（電圧・周波数等を変換する半導体・回路技術等）の技術を発展させることも重要な課題です。

2018年9月に発生した地震によって、北海道内の全域が停電する「ブ

ラックアウト」が起きてしまったのは衝撃的でした。北海道は再生可能エネルギーの発電量が全体の23%に達しています。再生可能エネルギーを安定的に大規模インフラにつなげる技術開発は急務であり、私たちに与えられた使命は極めて大きいと受け止めています。**赤石** 北海道の電力システムには設備や装置を複数用意する「冗長構造」がなくブラックアウトが起きてしまいました。通信の世界には冗長構造があります。エネルギーに先行する情報通信の動向を見ながら、対応策を講じていく必要があります。

海外生まれの自然エネルギーを日本に持ち込む

柏木 経済産業省は、私が座長を務める「水素・燃料電池戦略協議会」での議論を踏まえ、2017年12月に「水素基本戦略」を発表しました。世耕弘成経産相がこの戦略を英訳しサウジアラビアに行ったところ、非常に関心が高かったそうです。

サウジアラビアのような産油国は貴重な資源である原油を付加価値の高い用途に向ける「ノーブル・ユース」を望むようになっていきます。原油は石油

化学産業の原料として使い、太陽光や風力から生み出す電気を輸出する国へと転換しようとしている。太陽光や風力からつくった電力を使い、水を分解して水素を製造し、CO₂と反応させてメタンガス化すればLNG（液化天然ガス）として船で運ぶことができます。日本の水素戦略を活用できます。

赤石 私も資源エネルギー庁や外務省にエネルギー外交戦略を大きく見直す時期がきたのではないかと伝えていま



す。例えば太陽光、風力ともふんだんな国・地域があります。そこでエネルギーをつくり日本に持ち込むという発想を持つべきです。

SIPの「革新的炭素資源高度利用技術」では、生産活動から排出されるCO₂を炭素資源として利活用する技術を研究しています。これが実現すれば、エネルギー外交だけでなく素材外交にもつながってきます。

柏木 ゼオライトにCO₂を吸着する性質があることを生かし、コンクリートの代用品として活用する動きもあります。CO₂を「Capture（回収）」「Utilization（利用）」する「CCU」の取り組みを進める時代になってきましたね。

赤石 かつて京都議定書で定めた温室効果ガス削減目標を達成するために、CO₂を「Storage（貯留）」する「CCS」が議論された時期がありました。しかし、日本には貯留の場所がなく、研究開発の成果は十分に活かされていません。CCUが可能になればガラリと状況は変わります。

柏木 CCUの一環として「スマートアグリカルチャー」の事例も出てきています。あるスマートシティではコージェネを中心とする分散型エネルギーシステムを構築。電気、熱に加えて排ガス中のCO₂を温室に送り込んでいます。夜でも光合成ができるので、通常の半分の期間でイチゴやトマトが実る。こうした付加価値ビジネスを生み出せば、地方創生にも結びつきます。

赤石 地方版スマートシティをどうつくっていくか。それらを政府が目指す超スマート社会「ソサエティ5.0」のプラットフォームにどう結びつけていくか。ここから勝負といえます。日本の最先端のテクノロジーを「System of the Systems」に仕立てて輸出すれば、地方は発展し、日本経済は成長し、世界の様々な問題を解決することができる。日本の貢献は極めて大きなものとなります。

柏木 そういう未来を念頭に置き、引き続きSIPに取り組んでいきます。